TP « MAXPID »

AXE ASSERVI

I. Objectifs du TP

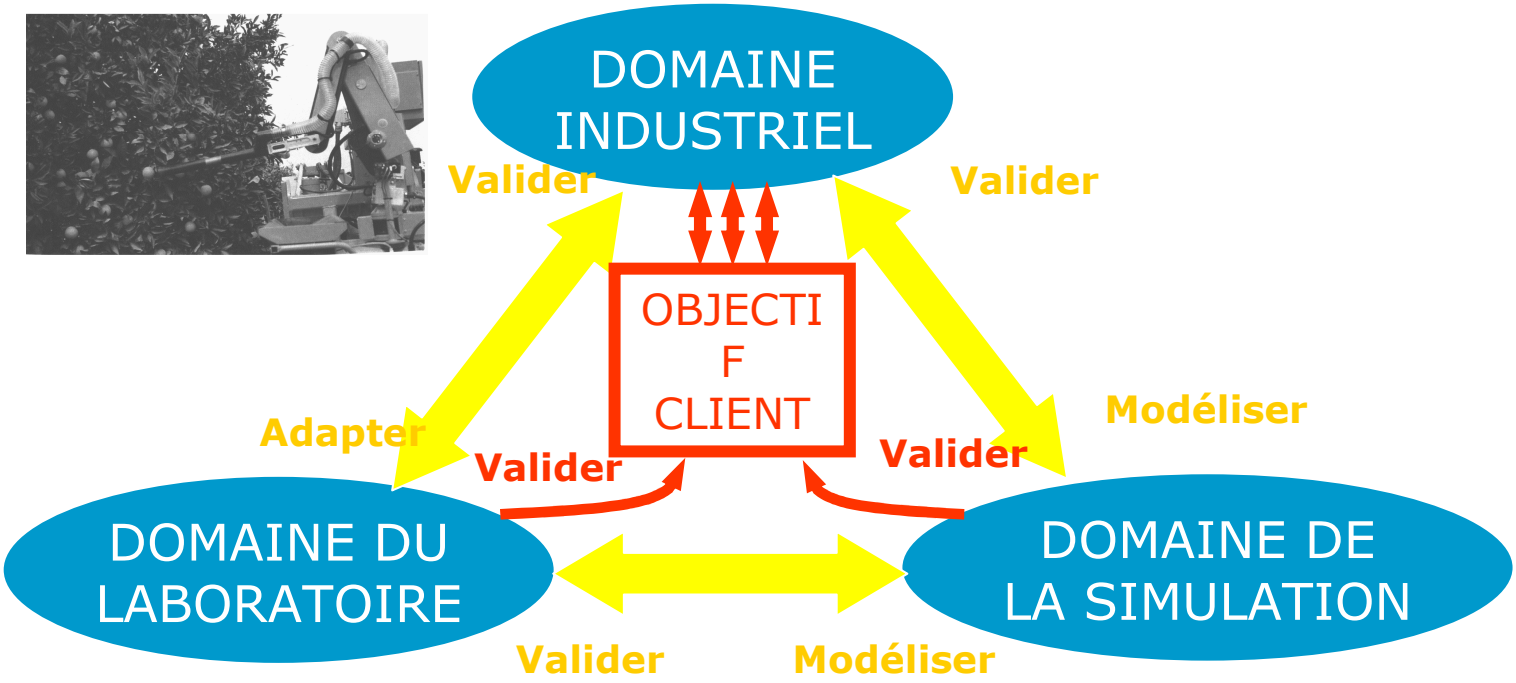
Documents à disposition

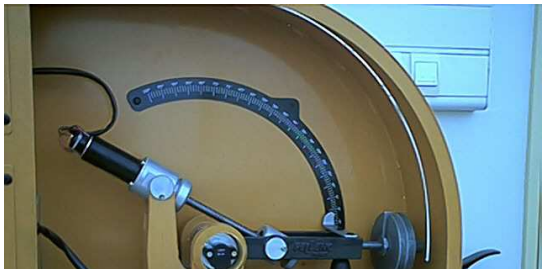
- le **dossier d'étude** (disponible ci-après) comprend les activités à mener pendant la durée de cette séance de travaux pratiques
- le **dossier ressource** (disponible sur le réseau) comprend l'ensemble des données disponibles sur les éléments (moteurs, capteurs, etc.) de tout ou partie des chaînes fonctionnelles présentes sur ce système
- le **dossier technique** (disponible sur le réseau) comprend des données utiles pour les mesures via le logiciel et les interfaces électroniques associées au TP

Présentation de l'activité

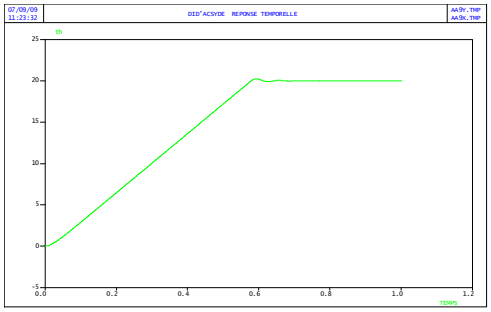
- **Secteur d'activité du matériel étudié dans ce TP :** Robotique, secteur industriel.
- **Support :** maquette MaxPID, composée d'une commande angulaire d'axe.
- **Thème :** analyse fonctionnelle, modélisation, identification au point de fonctionnement analyses des performances.
- **Références au programme :** analyse fonctionnelle, structure de la commande d'axe, modélisation du comportement au voisinage d'un point de fonctionnement, linéarité et analyse des performances (stabilité, précision..)

Le triptyque proposé ci-après montre les trois domaines d'étude d'un système. L'axe asservi MaxPID étudié correspond à une commande d'axe extraite de son environnement.





Performances mesurées sur les matériels instrumentés du laboratoire



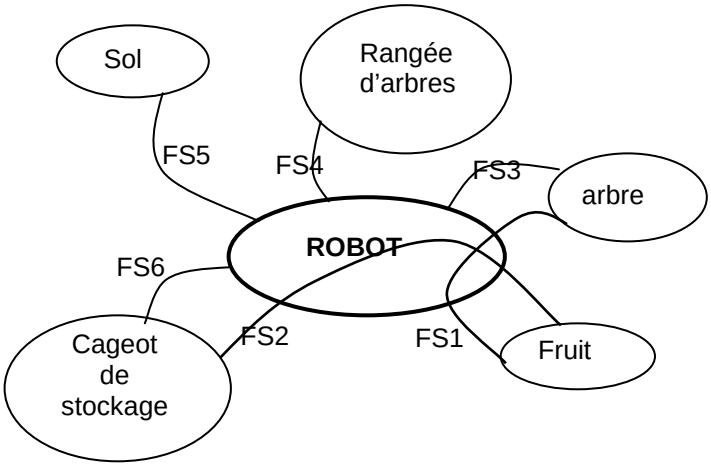
Performances estimées par simulation ou par calcul

Les objectifs des activités proposées ci-après sont :

- De valider le modèle proposé
- De valider les performances du modèle proposé par rapport à celles du système du laboratoire

II. Présentation du système

1. Évocation du problème



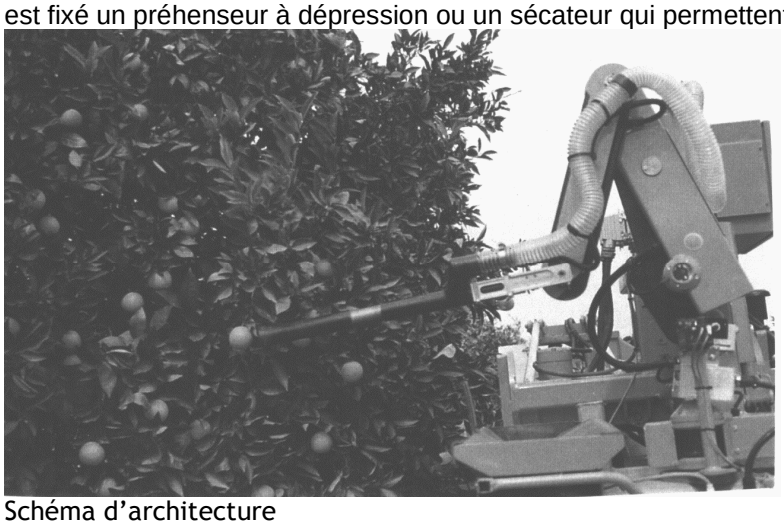
Analyse des milieux extérieurs en mode de fonctionnement normal

	Fonctions	***Critères***	***Niveaux***	***F***
FS 1	Le robot doit repérer dans l'arbre le fruit mûr le plus proche.	- Reconnaissance du fruit par la couleur - Prendre tous les fruits mûrs dans son volume de déplacement sans avancer - repérer aux moins 90% des fruits mûrs dans son volume de déplacement	5 niveaux de couleurs	1 1 1
FS 2	Le robot saisit le fruit sans le taler sur l'arbre et le stocke dans le cageot	- prendre 80% des fruits sélectionnés par la reconnaissance - ne pas lâcher le fruit après la cueillette - effort de saisie - ne doit pas séparer la queue du fruit - Ne prend que les fruits de niveau de maturité sélectionné - Comptage de fruits cueillis - Remplir le cageot en plaçant au mieux les fruits	1% de pertes minimum 4 niveaux de serrage : 5 N maxi Conservation plus longue 50% d'erreurs pour certains fruits Précision de positionnement de l'effecteur de préhension 2 cm 5 % d'erreurs Précision à 0,5% Les cageots sont équipés de cases de rangement	1 2 3 2 1 1
FS 3	Le robot doit respecter l'arbre	- ne doit pas couper l'écorce - Doit être limité en effort - Doit avoir la possibilité de sélectionner un autre passage pour saisir le fruit.	Pas arrêtes tranchantes 10 daN en plus de sa charge à vide 3 essais et abandon du fruit sélectionné	2 1 2
FS 4	Le robot doit passer dans la rangée d'arbres	- Autonomie totale -Largeur de la rangée minimum (feuillage non compris)	Le déchargement des cageots pleins se fait en bout de rangée. 3 m	1
FS 5	Le robot doit s'adapter au sol lors de ses déplacements	- Système non détaillé dans ce document.		
FS 6	Lorsque le cageot est plein, le robot l'évacue et réapprovisionne un cageot vide.	Système non détaillé dans ce document.		

Remarque : Pour des raisons de conception et de coût de production, le constructeur a choisi d'équiper le mouvement de l'épaule, du coude et du poignet avec le même système mécanique(cinématique, dynamique, et motorisation). Après une étude en cinématique, la précision angulaire de chaque axe doit être de 0,3° maximum.

2. Présentation de l'objet technique réel en situation d'usage.

Le système qui vous est proposé à l'étude est extrait d'un robot de cueillette de pommes développé par la société PELLENC S.A., producteur d'équipements agricoles. Ce système correspond au bras de cueillette au bout duquel est fixé un préhenseur à dépression ou un sécateur qui permettent la récolte des fruits dans l'arbre.



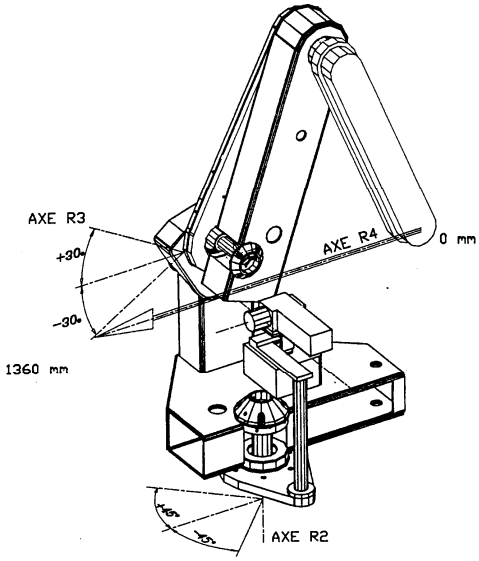


Schéma d'architecture

Les trois fonctions importantes du robot sont :

- F1 : le déplacement du robot dans le verger
- F2 : la prise du fruit dans l'arbre
- F3 : le rangement du fruit cueilli dans une caisse

Ces trois fonctions peuvent être exécutées simultanément ou successivement.

Le robot est entraîné de manière entièrement hydraulique : il utilise en effet un moteur et sa transmission, un système de direction automatique et des freins utilisant tous la puissance hydraulique.

Le robot se déplace en ligne droite dans les allées et son guidage est assuré par un gyromètre qui informe en continu la partie commande du système. Le système comporte en plus des détecteurs (sonars) à ultrasons qui repèrent les pieds des arbres et informent la partie commande de la présence de ceux-ci. Un programme informatique spécifique, stocké en mémoire, permet de déterminer le début et la fin des allées.

Arrivé devant un arbre, le robot s'arrête et cherche les fruits grâce à une caméra dont les images sont analysées par la partie commande grâce à un logiciel associé à la caméra. Lorsqu'un fruit est détecté, un programme spécifique, permettant de déterminer la maturité de ce fruit par analyse des données issues de la caméra, permet alors de le choisir ou non. Un odomètre est associé à ce choix pour éviter la prise de fruits trop mûrs. Un autre programme, utilisant lui aussi les données issues de la caméra, détermine alors la position du fruit dans l'espace.

La cueillette est assurée en déplaçant le système de ramassage à préhension dans l'espace grâce à un bras à trois degrés de libertés (dont est extrait le système étudié aujourd'hui). Un détecteur à contact puis un préhenseur à aspiration permettent alors la détection puis la saisie du fruit.

Lorsqu'un fruit a été cueilli, le bras à trois degrés de liberté revient à son point de départ et dépose le fruit dans une goulotte d'amenée appelée « chemin antichoc ». Ce système permet de transférer le fruit jusqu'au voisinage de la caisse de rangement dans laquelle il est placé grâce à un système de dépose mobile. Lorsqu'une caisse est pleine (ce qui est repéré par un capteur et un logiciel associé), un mécanisme de manutention des caisses dépose la caisse pleine dans un endroit prévu à cet effet et positionne une nouvelle caisse (vide bien sûr). Un compteur permet de déterminer en continu le nombre de caisses remplies.

Prendre connaissance du fichier résumé sur les outils de l'analyse fonctionnelle et sur la structure des chaînes fonctionnelles :

• Fichier **Outils de l'analyse fonctionnelle.pps** disponible sur le réseau, dans le dossier ressource (RESSOURCES\SII\Travaux Pratiques\Outils de l'analyse fonctionnelle)

ACTIVITÉ 1

Visionner la vidéo « Pellenc.wmv » pour observer particulièrement le fonctionnement du robot MAGALI sur un poste en réseau (il faut pour cela se connecter sur un ordinateur Dell et lire le fichier correspondant situé dans le dossier « vidéos TP » du répertoire Commun\Ressources\SII). Il n'est pas nécessaire de regarder la vidéo entièrement, il suffit de repérer le moment intéressant pour l'application qui nous intéresse.

Analyse fonctionnelle externe

• Préciser le besoin et la fonction assurée globalement par ce système (diagramme des prestations, aussi connu sous le nom de « bête à corne »).

Analyse fonctionnelle interne

• Mettre en place le diagramme SADT de niveau A-0 de ce système : on précisera particulièrement les contrôles, partie supérieure du bloc.

• Préciser les types d'énergies présentes dans ce système ; repérer les connexions associées.

3. Présentation du matériel instrumenté, support de l'étude.

Partie opérative (chaîne d'action)

L'architecture de la partie opérative est celle d'un robot plan, comportant un système vis-écrou motorisé et un mécanisme plan à transformation de mouvement rotation ➔ rotation. Le moteur est articulé sur une embase fixe et la vis en extrémité s'articule sur le bras pivoté via un écrou. Les articulations sont réalisées à l'aide de liaisons assimilables cinématiquement à des pivots.

Le vérin est de type électrique, construit à partir d'une liaison hélicoïdale, et motorisé par un moto réducteur à courant continu, de puissance maximale 40 W.

Partie commande

L'entrée des consignes de position du bras Maxpid s'effectue à partir d'un ordinateur comportant un logiciel de simulation du pilotage, interfacé avec la commande du moteur.

La carte d'interface analogique numérique entre l'ordinateur et l'électronique de commande de la rotation du moteur permet en « temps réel » :

- de transmettre les consignes calculées par l'ordinateur vers l'axe commandé ;
- d'acquérir les différentes mesures de position, de vitesse et de couple pour les visualiser.

Extrait du Cahier des Charges Fonctionnel du bras MAXPID.

FS	Critères	Niveaux	Flexibilité (optionnel)
FS1 Déplacer une charge	C11 : amplitude	0 - 90°	± 1° (voir note 1)
	C12 : mémoriser la position angulaire atteinte	En tout point	aucune
	C13 : précision du positionnement	0,1°	minimale
	C14 : capacité de charge	3 kg	charge maximale
	C15 : stabilité et amortissement		
	Marge de phase	45°	minimum
	Dépassements transitoires	30 %	maximum
	C16 : vitesse moteur	60 % . $N_{nominale}$	Maximum (voir note 2)

Note 1 : les deux trous oblongs situés de chaque côté du capteur permet un positionnement centré du capteur dont l'amplitude de mesure est légèrement supérieure (elle vaut 94 °).

Note 2 : c'est un critère thermique pour éviter l'échauffement du moteur

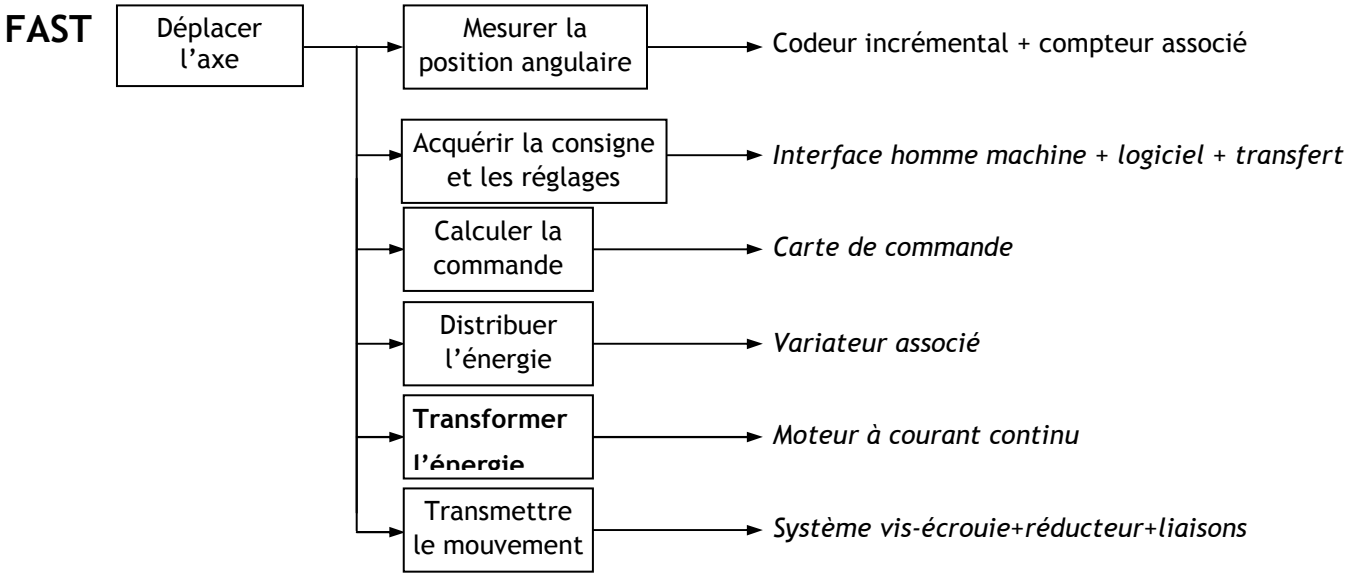
ACTIVITÉ 2

Préciser les contraintes imposées par l'environnement réel par rapport au laboratoire. Conclure quant à la cohérence et aux limites de la « réduction » réel ➔ instrumenté.

4. Observation du matériel instrumenté en fonctionnement.

On se propose de modéliser la commande d'axe du bras Maxpid. Le fonctionnement de la commande de cet axe peut-être analysé par le schéma SADT de niveau A0 de l'annexe.

Le fonctionnement de la commande de cet axe peut-être analysé par le schéma FAST ci-après.



ACTIVITÉ 3 : Manipulation de mise en évidence du fonctionnement

Mettre la chaîne fonctionnelle de positionnement angulaire est en **position de déplacement horizontal** (ce qui correspond à placer le boîtier orange à plat sur la table). Fixer deux masses additionnelles en bout de bras.

Cliquez sur l'icône MAXPID se trouvant dans le répertoire de programmes de SII puis choisir le menu « travailler avec MAXPID » (voir note[1]). Pour avoir une mesure correcte, toujours respecter le protocole de mesure suivant :

0. Dans le menu « réponse à une sollicitation » cliquer sur « PID » : choisir un Gain Proportionnel (K_P) de 31 (vérifier que les gain Intégral K_I et Dérivé K_D sont nuls). **Valider pour sauver les nouveaux Paramètres.**
1. Choisir de visualiser les courbes de consigne, commande et position et une durée d'acquisition de 600 ms.
2. Placer le bras à $\theta = 10^\circ$ en modifiant la position désirée à l'aide du curseur placé en haut à droite puis en cliquant sur « échelon de position ».

[1] les différents essais par la suite sont parfaitement guidés mais, en cas de problème, une aide pour la prise en main vous est proposée dans le menu « documents MAXPID » puis « manuel d'utilisation du logiciel MAXPID ».

3. Procéder de la même façon pour placer le bras θ = 25° avec un Échelon de Position. L'essai étant effectué, les courbes sont affichées. Les enregistrer dans votre répertoire personnel.

Refaire la même mesure avec la chaîne fonctionnelle de positionnement angulaire en **position de déplacement vertical** (ce qui correspond à placer le boîtier orange perpendiculairement à la table).

La consigne est-elle atteinte dans les deux cas ? Estimer l'écart valeur consigne – valeur atteinte.

Quelle est la perturbation principale sur ce système ? Est-elle constante quelle que soit la position angulaire du bras ? Proposer un modèle d'évolution de cette perturbation. Dans quelle zone (bras voisin de 0° ou bras voisin de 90° ou bras voisin d'un angle à préciser) cette perturbation peut-elle être considérée comme quasi constante et maximale ?

Pour toute la suite, on va considérer qu'on travaille boitier horizontal sur des évolutions de petite amplitude depuis la position horizontale correspondant à θ = 90°.

Justifiez le chois de cette valeur de θ=90° pour la linéarité du processus.

4. Synthèse : analyse fonctionnelle

ACTIVITÉ 4

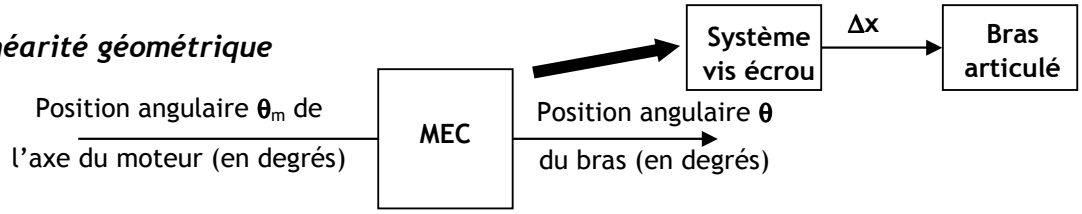
• Grâce aux documents fournis (SADT A0 par exemple), identifier les différents éléments mis en évidence par le document de présentation des chaînes fonctionnelles (tous ces éléments peuvent ne pas exister sur ce système) pour la chaîne fonctionnelle étudiée.
• Le document sur les chaînes d'énergie, d'action et d'information (normalisé) permet de décomposer de manière complète la structure l'asservissement : compléter ce document.

III. Étude des performances du système

1. Étude de la non linéarité du processus

Sur le Maxpid, deux non linéarités peuvent être étudiées : les non linéarités **géométrique** et **de la commande**.

Étude de la non linéarité géométrique



Une étude cinématique permet de trouver la loi du mouvement, c'est-à-dire la relation entre l'entrée (déplacement de l'écrou Δx) et la sortie (angle de position du bras θ). Le pas de la vis à billes est : p = 4 mm.tour^{-1}.

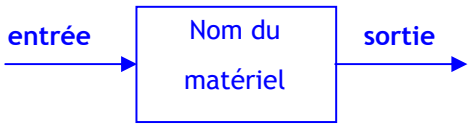
La courbe, donnée en annexe, montre que cette loi n'est pas linéaire : en linéarisant cette courbe au voisinage des petits angles (domaine de l'étude menée), déterminer la fonction de transfert du bloc représentant la chaîne cinématique du bras articulé $\Theta(p) / \Delta X(p)$. Puis, à l'aide des caractéristiques de la vis, déterminer la fonction de transfert : MEC = $\Theta(p) / \Theta_m(p)$.

2. Modélisation de cette commande d'axe (schéma-bloc topo-fonctionnel)

Le diagramme SADT met en évidence une structure bouclée. L'analyse de ce qui a été fait jusque là permet de justifier la présence d'un asservissement, pas forcément linéaire ..., sur l'axe considéré.

On se propose maintenant de mettre en place un schéma-bloc topo-fonctionnel de la commande d'axe. Un tel schéma regroupe trois informations : le matériel, la fonction assurée par celui-ci et, par la structure du schéma mis en place, la position de ce matériel dans l'asservissement étudié.

À l'aide du SADT donné en annexe et des études et essais précédents, proposer un schéma bloc « topo-fonctionnel » de la commande d'axe du bras. Chaque bloc sera représenté comme ci-dessous.



Fonction réalisée

Indiquer sur ce schéma fonctionnel l'arrivée énergétique (12 V continu) et la perturbation.

Étude de la non linéarité en commande (observée sur tous les systèmes du laboratoire)

Un module de saturation à 21,1 V a été placé entre le variateur et le moteur à courant continu de façon à ne pas abimer le moteur : valider cette phase de saturation sur les deux essais précédents. Pour quelle position a-t-on une phase de saturation plus importante ? Était-ce prévisible ?

Refaire deux essais pour des gains de 15 et de 25 dans la position induisant la plus grande période de saturation de la commande : que remarque-t-on ? Que peut-on conclure quant à la modélisation qui va maintenant être mise en place ?

3. Vérification du modèle

La vérification du modèle consiste à effectuer une simulation à l'aide du logiciel Did'Acsyde, puis à effectuer des essais sur le système réel ; la comparaison des résultats permettra de voir si la modélisation (effectuée au voisinage d'un point de fonctionnement) est correcte.

On remarque que pour des écarts importants entre la valeur de la consigne et la position atteinte, le phénomène de saturation de tension se produit : la courbe de réponse obtenue ne peut pas dans ce cas être assimilée à celle d'un système du second ordre.

Pour contourner ce problème, et réaliser néanmoins une comparaison entre le système réel et le modèle, on peut : - soit en simulation avec Did'acsyde placer un bloc « saturation »
- soit demander au système réel d'effectuer un échelon de faible amplitude

Étude des performances sur le système du laboratoire

Pour réaliser cette étude le système MAXPID doit être placé à plat.

Faire un essai en échelon de la position 30° à la position 60° avec la valeur de Kp de 255, et la valeur 0 pour Ki et Kd .

Vérifier qu'il y a bien un phénomène de saturation. Noter les résultats des valeurs de dépassement, $t_{5\%}$, période des oscillations éventuelles (faire un tableau récapitulatif des résultats obtenus).

Faire un essai en échelon un essai avec un échelon de 2°, une valeur de Kp de 80 sur une durée de 500 ms avec une période d'acquisition de 5 ms.

Vérifier qu'il n'y a pas de phénomène de saturation. Noter les résultats des valeurs de dépassement, $t_{5\%}$, période des oscillations éventuelles (consigner ces valeurs dans le tableau récapitulatif précédent).

Étude des performances du modèle à l'aide d'une simulation

À l'aide du logiciel de simulation DID'ACSYDE, ouvrir le fichier « max3.sch » situé dans commun\ressources\SII\TP\TP Maxpid.

Valider les différentes fonctions de transfert (sauf celle du hacheur) du schéma-bloc fourni en annexe avec celui de ce fichier DID'ACSYDE en sachant que le temps d'échantillonnage est de 1,5 ms.

Réaliser deux analyses temporelles (réponse indicielle) avec :

- L'affichage de la courbe de variation de l'angle th de déplacement du bras
- gain proportionnel Kp=255 (échelon de 30°) puis 80 (échelon de 2°)
- la valeur 0 pour Ki et Kd
- Prendre une valeur de saturation « sat » de 21.1 V (les données à introduire sont les coordonnées du point de cassure de la courbe de saturation).

Observer le phénomène de saturation s'il existe. Existe-t-il dans le deuxième cas. Si oui expliquer la raison et que faut-il faire pour se placer dans des conditions similaires au deuxième essai du système réel ?

Noter les résultats des valeurs de dépassement, $t_{5\%}$, période des oscillations éventuelles dans les deux cas (faire un tableau récapitulatif des résultats obtenus).

Comparaison système du laboratoire / modèle

Si les relevés expérimentaux correspondent à ceux obtenus en simulation, c'est que le modèle choisi est correct. Sinon, il faut revenir sur les hypothèses qui ont été faites pour établir un nouveau modèle.

Comparer les résultats obtenus en simulation avec ceux obtenus sur le système réel et conclure.

4. Situation de fonctionnement la plus défavorable

Pour réaliser le réglage de la correction, l'axe devra fonctionner dans la situation la plus défavorable d'un point de vue stabilité. Cet axe peut évoluer dans un plan horizontal ou vertical, avec ou sans masses. La fonction de transfert du moteur, dans le cas de la prise en compte de la perturbation, s'écrit :

Préciser la situation de chargement la plus défavorable pour la stabilité du système.

On se placera pour toute la suite dans cette situation.

À l'aide du logiciel de simulation DID'ACSYDE, reprendre le fichier « max31.sch ».

Analyser les différentes performances pour ce réglage à l'aide d'une analyse temporelle (ne pas oublier de placer le saturateur pour cette analyse) et d'une analyse fréquentielle.

L'analyse fréquentielle se fera en boucle ouverte (Analyse transfert boucle, point « bo » et non th comme proposé en sortie) puis tracer le diagramme de Black et/ou les diagrammes de Bode du système en boucle ouverte. On utilisera la marge de phase pour étudier la stabilité :
On appelle « marge de phase » la valeur $M\varphi = 180° + \varphi(\omega_1)$ où ω_1 est la pulsation pour laquelle le gain vaut $G(\omega_1) = 1$ soit en décibels $GdB(\omega_1) = 0$. ($G(p)$ est la fonction de transfert en boucle ouverte, $G(\omega)$ son gain et $\varphi(\omega)$ sa phase). Pour que le système en boucle fermée soit stable, il faut que $M\varphi$ soit positive. Par sécurité, le cahier de charges impose même généralement qu'elle soit supérieure ou égale à 45°.

5. Étude des performances du système pour le réglage précédent

A l'aide d'une analyse temporelle et d'une analyse fréquentielle faites à partir d'essais sur le système, valider les performances proposées par le cahier des charges.